



M1A2(SEP-V3)戰車動力系統(含使用燃料)與操縱裝置介紹 筆者/簡一建

提要

- 一、燃氣渦輪發動機(Gas turbine engine, 以下簡稱,GTE)於 1903 年問世,最初運用於發電機與北歐高緯度寒冷地帶暖氣供應系統,1930 年隨著渦輪軸發動機的改良使其小型化與實用化,第二次世界大戰後取代活塞式引擎,成為軍民用航空器使用,使飛機進入「噴射機時代」。
- 二、燃氣渦輪發動機擴大運用,美國海軍於 1970 年後以 LM-2500 燃氣渦輪發動機取代舊式蒸氣鍋爐,陸軍則於 1981 年後於 M1 戰車使用 AGT-1500 燃氣渦輪發動機取代活塞式引擎,另本型發動機也運用於發電機組及民用船舶上,但相同特性為需足夠空間以容納發動機並有效解決散熱問題。
- 三、底特律柴油發動機-艾利森分部(Detroit Diesel Allison, 以下簡稱,DDA)為專業變速箱製造子公司如 M60 戰車使用之 CD-850 系列變速箱,也是旗下產品,X1100-3B 變速箱因搭配輸出動力達 1,500HP 的發動機設計及操作,有別傳統戰車變速箱。
- 四、石化燃油製品,隨引擎設計與科技進步,主要燃油區分為汽油(Gasoline)、柴油(Diesel Fuel)及煤油(Kerosene)等三種,而煤油已成為航空器主燃油。

關鍵詞：M1A2 戰車、燃氣渦輪發動機、X1100-3B 變速箱、石化燃油製品

壹、前言

燃氣渦輪發動機(Gas turbine engine, 以下簡稱,GTE)於 1903 年問世,最初運用於發電機與北歐高緯度寒冷地帶暖氣供應系統,後續燃氣渦輪發動機(GTE)廣泛使用航空器、大型船舶及發電廠,種類包括「渦輪噴射、渦輪扇、渦輪軸與渦輪槳等類」因載具傳動方式不同,而產生不同壓縮比、旁通比與轉速要求,渦輪噴射軸引擎於 1930 年由英國人佛蘭克.惠特爾爵士(Sir. Frank Whittle)發明,¹但初期並未獲軍民用飛機青睞,直到德國首架噴射戰鬥機(Me-262)出現歐陸上空,給予盟軍極大震撼,但終究抵不過盟軍龐大機群,德軍於 1945 年 5 月戰敗投降,戰後東、西方陣營紛紛投入噴射機的研發,俄國成功研製米格-15 戰鬥機,美國則製造 F-80 戰鬥機,後續軍民用飛機,不再使用奧圖循環引擎(活塞式),因為燃氣渦輪構造為橫式直通,相較於活塞引擎需要較多組件(汽門、汽缸、活塞、曲軸及傳動軸)經過汽缸燃燒產生動能推動活塞往復運動已獲得車輛動能,因金屬高轉速摩擦產生高熱設計上以液(氣)冷方式降溫,這也使熱能遭消耗,無法將全數熱能轉為動能,燃氣渦輪則是採直噴燃燒壓縮驅動渦輪葉片,帶動直升機旋翼或 M1 戰車傳動軸,熱能損失較少,但相對耗油量也相對活塞式

¹< 燃氣渦輪發動機發明史>, <http://en.m.wikipedia.org>, (2019 年 12 月 14 日)。

引擎高出許多，採用燃氣渦輪發動機雖帶來更高馬力，相對也使油耗提高。²

貳、M1A2 戰車動力系統

M1 戰車動力系統由 AGT-1500 燃氣渦輪發動機與 X1100-3B 自動變速箱兩大部分組成，燃氣渦輪發動機藉由高壓縮空氣及渦輪燃燒室，產生高熱能驅動渦輪扇軸，此一線性傳動方式，減少活塞式引擎的複雜結構，造成動力損失，自動變速箱專為發動機輸出之強大馬力設計，也成為變速箱重量比發動機大的罕見情形，藉由動力系統傳動最終傳動器，使戰車可以進行各種機(運)動，奔馳於戰場上，為高速機動力與發揚火力奠定基礎。

一、AGT-1500 燃氣渦輪發動機

燃氣渦輪發動機若以簡單比喻為噴燃式鍋爐，在點火前必須啟動氣閥將空氣注入燃燒室，再將煤油注入形成油氣霧化，再按下點火按鍵使燃燒室保持燃燒將鍋爐內的冷水加熱成為沐浴熱水或化為蒸氣，視用途別而定，但兩者最大差異在於燃氣渦輪引擎在一個封閉系統內完成，主要諸元及效能(如圖 1、表 1)。

此發動機現為美國 HONEYWELL 公司之產品，由 UH-1 直升機之 T53 發動機改良而成，為一以三軸自由式渦輪輸出動力之渦輪軸發動機。

圖 1-AGT-1500 燃氣渦輪發動機



資料來源：筆者翻拍製作(拍攝日期：2021 年 12 月 15 日)

表 1-AGT-1500 燃氣渦輪引擎部位及工作效能表

²燃氣渦輪發動機與柴油引擎油耗比較表：

戰車型式	油箱容量(公升)	巡遊里程(公里)	平均油耗(公升/公里)
M1A2(GTE)	1,910	426	4.48
豹 2A4(DIESEL)	1,110	500	2.221
M60A3(DIESEL)	1,457	550	2.641

獨島刀也《地表最強戰車!M1 艾布蘭戰車徹底追蹤》，(新北市：瑞昇文化，民國 2011 年 9 月)，頁 152。



區分 項次	部位名稱	工作效能
1	防塵進氣孔	過濾粉塵，導入清潔空氣
2	低壓壓縮	冷區域-壓縮空氣帶動扇葉旋轉
3	高壓壓縮	將低壓轉為高壓空氣注入燃燒室
4	渦輪機及燃燒室	將燃油注入與高壓空氣混合燃燒
5	排氣	將燃燒後廢氣排出

資料來源：筆者整理製作

一、防塵進氣口：

美軍首度將航空發動機改為陸用，因戰車是在地表上作戰，因此有別於航空用途，在進氣道加裝一組時鐘形防塵網罩，防止異物吸入發動機，美軍於第一次波灣戰爭結束後，立即將 M1 發動機吊出，清理防塵網罩，並檢查葉片狀態，也發現沙漠中的微粒粉塵無法阻絕，對渦輪葉片造成毛邊損害，³必須以人工修復並重新配重後，使發動機渦輪葉片保持正常，因防塵進氣孔，所需空氣由砲塔室供應，因此本軍換裝單位須特別注意「不要把泥沙帶進砲塔室」，每週保養時以吸塵器將砲塔室清理乾淨，防止發動機吸入異物或微質粒粉塵，造成損壞。

二、壓縮機

壓縮機區分低壓及高壓等兩段，在低壓段前方有一固定於機匣上之可調式導氣葉片，每一段壓縮機由數個轉子葉片(Blades)固定於一只同心軸上與固定於機匣上且與轉子葉片等數之導氣定子(Vanes)前後交錯所組成，並於每根同心軸後端皆有渦輪轉子以接受燃燒室內產製之高壓氣體吹鼓帶動，以驅動各壓縮機循環作用，且每一轉子在前與定子在後稱布局方式之為「一級」，⁴級數愈高所產製之壓縮效果越好，以利燃燒室燃料燃燒，AGT-1500 發動機壓縮機組成如下

(一)5 級軸流式低壓壓縮機：最高轉速 33,500RPM

(二)4 級軸流式 1 段離心式高壓壓縮機：最高轉速 43,500RPM

三、燃燒室

該發動機燃燒室採環形逆流式設計可有效縮短發動機之整體長度，作用原理為乾淨冷空氣經過低、高壓縮機以壓縮氣流排入渦輪室、準備與燃油混合燃燒。渦輪機及燃燒室渦輪機與燃燒室(Combustion Chamber)在發動機同一區段內、此時經壓縮高壓空氣注入燃燒室，與噴射幫浦提供燃油混合

³羅明宏，《飛地安全雙月刊第 548 期-飛機發動機防制外物吸入》，(台北市：空軍司令部督察長室，民國 2021 年 8 月)，頁 9-10。

⁴陳瑞虎，《航空發動機基礎概論》，(台科大圖書股份有限公司，民國 1019 年 9 月)，頁 45。

經火焰筒-渦流器以點火器(以高壓電流產生電子點火)燃燒，以燃燒氣流先行驅動最靠近燃燒室出口端之高壓渦輪轉子並同步帶動同軸上的高壓壓縮器轉子實施進氣道高壓空氣壓縮，當燃燒室高壓氣流離開高壓渦輪轉子後，推動低壓渦輪轉子並同步帶動同軸上的低壓壓縮器轉子實施進氣道低壓空氣壓縮，因此壓縮器之轉子同步同轉速旋轉，所以當發動機點火後(渦輪全速轉動電子點火器關閉)，高壓油氣注入更快，高壓渦輪轉速也瞬間達到最高(約 43,500RPM)，⁵燃燒室高壓氣流最後推動動力渦輪轉子最高轉速(約 22,500 RPM)，該轉子之同心軸另一端與變速箱減速齒輪相連結以輸出車輛動力，(剖面圖如圖 2)渦輪機組成如下。

(一)1 段軸流式高壓渦輪機：最高轉速 43,500RPM。

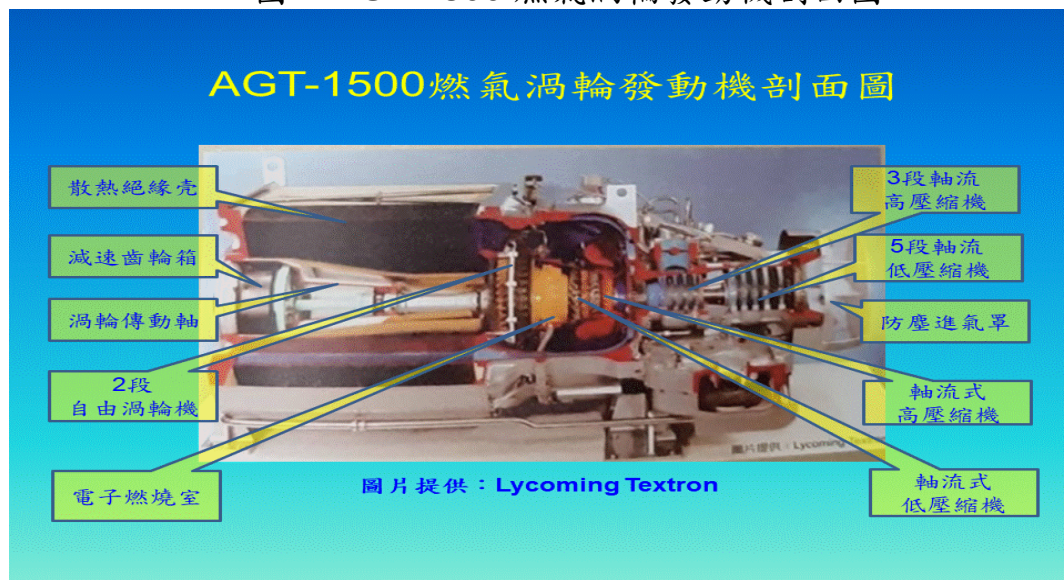
(二)1 段軸流式低壓渦輪機：最高轉速 33,500RPM。

(三)2 段自由出力渦輪機：最高轉速 22,500RPM。

四、減速齒輪箱：

因為陸用車輛變速箱無法承受燃氣渦輪機的高轉速，AGT-1500 發動機非藉由牛頓第三運動定律推動車輛，⁶必須將動力渦輪之由 22,500RPM 降至 3,000-3,100RPM 適用轉速，以增加車輛扭力及減少煞車負荷並驅動 X1100-3B 自動變速箱。

圖 2-AGT-1500 燃氣渦輪發動機剖面圖



資料來源：筆者翻拍製作(拍攝日期：2012 年 12 月 15 日)。

五、X1100-3B 自動變速箱

M1 戰車使用底特律柴油發動機-艾利森分部(DDA)製造的 X1100-3B 變

⁵同注 2

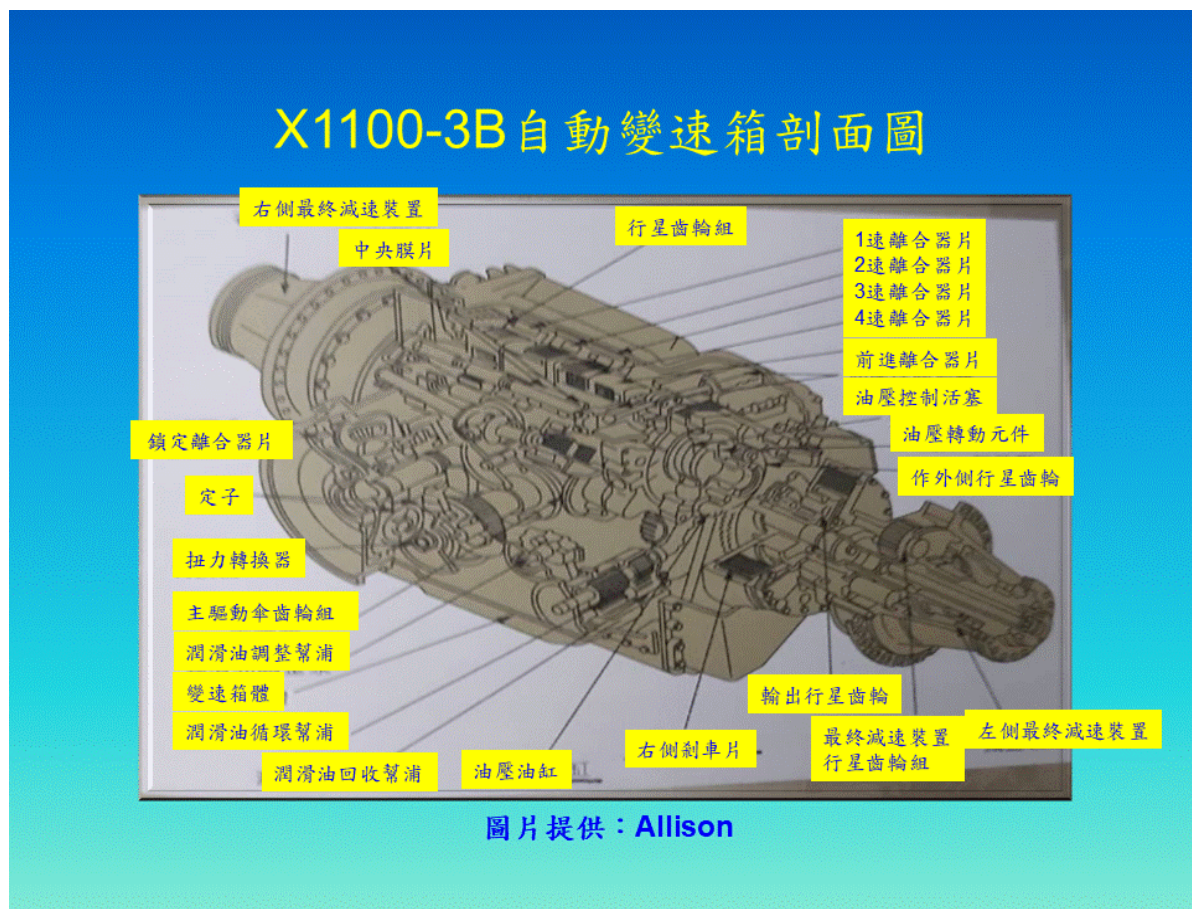
⁶牛頓第三運動定律：〈在同一直線上，相同質量，作用力=反作用力〉，[Http://www.phyword.idv.tw](http://www.phyword.idv.tw)，(2021 年 12 月 15 日)。



速箱(剖面圖如圖 3)，當發動機高轉速渦輪扇葉經減速齒輪箱降低至戰車適用轉速以傳動軸輸出動力至變速箱，主要由太陽、行星齒輪、多碟制動器及最終傳動器與冷卻系統等四大部分組成，與 AGT-1500 燃氣渦輪發動機搭配形成變速箱重量(1,960 公斤)大於發動機(1,120 公斤)的顛覆傳統引擎室配置狀況，本軍未來執行發動機及變速箱吊卸時須特別注意，使用正確吊架與 5 噸以上吊(天)車。

另此款變速箱將剎車制動系統裝置於變速箱內，配合駕駛艙制動急煞車鎖定踏板與釋放桿操控，相關細節介紹於操控章節專述。

圖 3-X1100-3B 變速箱剖面圖



資料來源：筆者翻拍製作(拍攝日期：2021 年 12 月 15 日)

六、M1A2 戰車使用燃油分析

(一)緣起：

美國 M1 戰車部署北約時，因寒冷氣候導致戰車使用柴油產生蠟化現象，引發燃油系統阻塞，遂將 50%之 JP-8 燃油或 JP-5 燃油混合 50%的柴油作為「M1 混合燃料」，蠟化現象獲得解決。因美陸軍為促使「單一燃油政策」開始採用 JP-8 燃油取代柴油，作為 M1 戰車主要用油，而國軍主要戰鬥載台使用油料情形，燃氣渦輪發動機擴大運用，美國海軍於 1970 年後以 LM-2500 燃氣渦輪發動機取代舊式蒸氣鍋爐，陸軍則於 1981 年後於 M1 戰車使用

AGT-1500 燃氣渦輪發動機取代活塞式引擎，(如附表 2)。

附表 2-國軍主要載具使用燃油統計表

單位 \ 油 品		柴油 (柴油引擎)	JP-8 (燃渦發動機)	相容油品
陸軍	戰車		M1	柴油(計畫使用)
		M60、CM11		無
	步兵戰鬥車	◆		
	直升機		◆	
	通用輪車	◆		
海軍	康定級艦	◆		JP-5(未使用)
	基隆級艦		◆	
	成功級艦		◆	
	濟陽級艦	◆		無
	潛艦	◆		
	直升機		◆	JP-5(未使用)
空軍	IDF 戰機		◆	無
	F-16 戰機		◆	
	幻象-2000 戰機		◆	
	C-130 運輸機		◆	JP-5(未使用)
	直升機		◆	無
備 考	1.海、空軍機艦均使用原廠指定燃油，未使用相容油品。 2.本軍 M1 戰車計畫使用柴油，為國軍主要戰鬥載台唯一選擇使用相容油品。			

資料來源：筆者整理製作

(二)AGT-1500 燃氣渦輪發動機使用燃油分析：

AGT-1500 燃氣渦輪發動機，設計上為多種燃油(包括柴油、煤油、JP 系列航油「除含汽油外」酒精、甚至沙拉油及香奈爾香水)均可使用，依據原廠設定可使用航空煤油及柴油，但不論在任何狀況下，不得使用汽油類及混合燃料(如 JP-4)，因為汽油高辛烷進入燃燒室會產生爆炸，燃氣渦輪發動機。

(三)依據溫澤民先生於 2011 年 8 月於後勤季刊發表「國軍陸用裝備使用 JP-8 燃油可行性之研析」，係因美軍將陸用裝備(含戰鬥與勤務支援車輛)改採與航空部隊使用相同燃料 JP-8，使第三類補給品燃油補給品項統一，當然為使原使用柴油車輛，能夠使用 JP-8 航油，必須在柴油(Diesle)引擎噴射幫浦與噴油嘴與壓縮比作局部調整，國軍若將全數軍用柴油車輛改裝，將耗費較高



維持成本與部分美軍實驗性質裝備測試狀況不佳為由，其結論為不可行。

(四)本文在此章節介紹「因司令部計畫及後勤處以 M1 戰車除美軍使用 JP-8，其他軍售國均使用柴油並維持地面裝備補給一致性為由」，在 M1 戰車交裝後，使用柴油作為主燃料，筆者查閱相關記錄與中油燃油供售狀況及柴油對燃氣渦輪引擎使用之影響，使讀者了解每一種發動機依據原始設計，就有指定燃油品項，如當年因環保為由將高級汽油中的四乙基鉛添加劑(增加辛烷值，增加引擎抗爆震性)取消，後續汽車製造商會依據這個規範，以符合 92、95 及 98 無鉛汽油的使用，同樣在美軍將柴油車改為 JP-8 也會產生同樣不可預期狀況就常用，航空燃油(JP-8)與柴油(DF-2)實施比較分析：

(五)航空燃油

航空器在燃氣渦輪發動機普及前，一般均使用汽油引擎且因應進圓筒型機鼻設計，汽缸體採星狀或直立排列，以節約空間，經兩次世界大戰驗證，使用汽油的航空器，如果沒有對油箱採用防爆或阻燃裝置，交戰中油箱被擊中霎那間化為火球，最典型為日本零式戰鬥機，⁷二戰後隨著燃氣渦輪發動機開始裝配於軍民用飛機上，航空器燃油開始使用揮發性較低比較安全的煤油，隨著發動機性能需求衍生不同的配方，以符合飛航安全要求，(如表 3)。

表 3-各類航空燃油成分及用途比較表⁸

區分 類別	主要成分	添加劑	用途別
JP-4	汽油及煤油 各 50%	有	活塞式引擎
JET B	煤油	視狀況	民用船舶
JP-5	煤油-80%	有-20%	軍用航空器
JP-8	煤油-80%	有 20%	軍用航空器
JET A-1	煤油-80%	有 20%	商用航空器
JET A	煤油	無	商用航空器
備考	1.航油主要添加劑： 四乙基鉛、抗氧化劑、鹼性酚、防靜電劑、腐蝕抑制劑、 結冰抑制劑(添加劑佔 20%) 2.添加劑主要目的為防止發動機腐蝕、扇葉膠化及燃料結凍。		

資料來源：筆者整理製作

※注意就航空燃油而言：M1 戰車適用者為：JP-5、JP-8 及 JET A-1 三種。

(六)陸用燃油

⁷阿川弘之原著、譯者陳寶蓮，《山本五十六-聯合艦隊司令長官》，(台北市：麥田出版社，民國 84 年 8 月)，頁 151-156。

⁸溫澤民，《國軍陸用裝備使用 JP-8 燃油可行性之研析》，(台北市：聯合季刊第 26 期，民國 100 年 8 月)，頁 21。

陸用燃油區分為汽油(Gasoline)及柴油(Diesel) 與煤油(Kerosene)三種，又因引擎設計為電子、壓縮與渦輪點火，三者在使用途上，早期因柴油製程與點火方式造成嚴重空汙，所以汽油車一般由小型車輛為主，柴油車都為軍用及載重車使用，燃氣渦輪引擎早期因體積龐大，用於發電及暖氣供應設備，但近年來煉油技術的發展與引擎製造科技進步，小型家用車輛也導入柴油引擎，燃氣渦輪引擎也因 1930 年惠特爾爵士的改良得以小型化、實用化。

1.汽油引擎：

隨內燃機(Internal Combustion Engine,ICE)的發展列舉重要進展：

- (1)1876 尼可拉斯.奧圖(Nicolaus Otto) 內燃機四行程循環(進氣、壓縮、爆炸、排氣)實用化，也奠定汽車引擎製造基本規範，為紀念此一德國工程師將內燃機主要運作循環稱為「奧圖循環」。
- (2)1885 年戈特利布.威廉.戴姆勒(Gottlieb.Wilhelm.Daimler)以奧圖循環為基礎使用磁電機點火，使汽油成為汽車主要燃料，也使汽油引擎進入實用化時代。

2.柴油引擎

1893 年魯道夫.克里斯坦.卡爾.狄賽爾(Rudolf.Christian.Karl.Diesel)同樣以奧圖循環為基礎發明另一種四行程引擎，不同的是他將汽油機的電子點火，改為汽缸壓縮產生高溫直接點火，所以現在柴油引擎仍以狄賽爾(Diesel)為名以紀念他的發明。

3.燃氣渦輪引擎

1903 簡森.威廉.埃吉狄烏斯.艾琳(Jens.William.Aegidius.Elling)發明了首部燃氣渦輪引擎，以天然氣為燃料，主要用於發電廠，三者比較，(如表 4)。

表 4-陸用引擎與燃油比較表

區分 內容	汽油引擎	柴油引擎	燃氣渦輪引擎
作動行程	二行程/四行程(進-壓-爆-排)		壓縮-燃燒驅動渦輪-排氣
點火方式	電子	壓縮	電子
使用燃料	汽油	柴油	煤油
主要用途	小型汽車	大型汽車	航空器、大型船舶及軍用車輛如 M1 戰車

資料來源：筆者整理製作

(七)使用 JP-8 燃油主因

1.供油線路清洗

因此 M1 戰車返台前，在美方廠房完成整新組裝，試車燃料必定使用 JP-8，

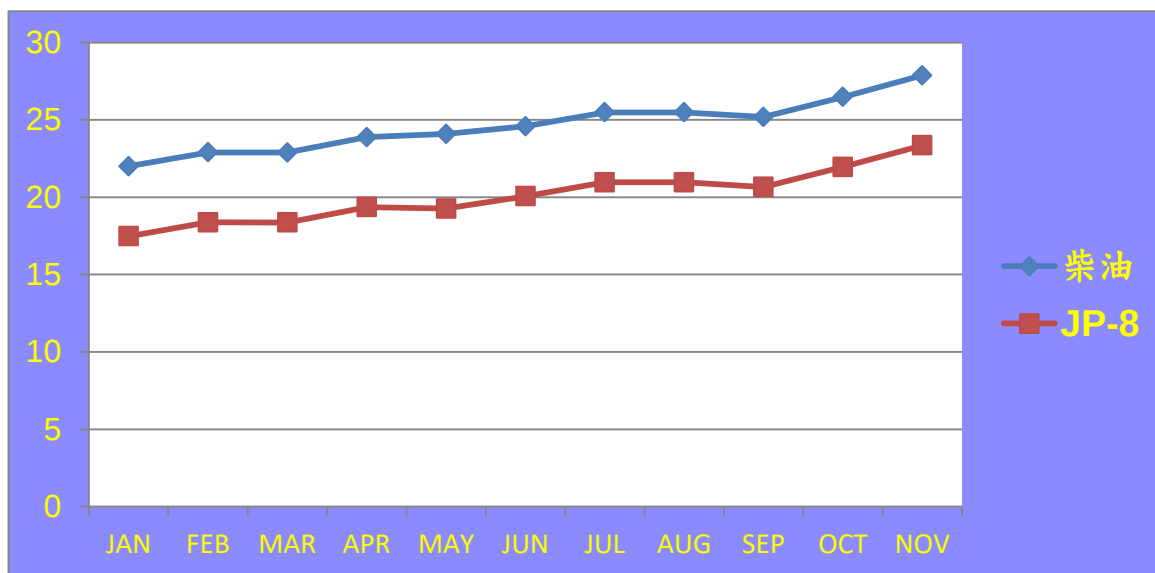


包含本軍首批赴美種子教官訓練，亦使用 JP-8 燃油，返國後若本軍堅持使用柴油，作為主燃油，所有油箱必須完成清洗(含噴射幫浦與所有供油線路)，增加維保成本，且清洗技術本軍技勤人員能否有能力實施，仍待評估，若不清洗混用，如美軍於 1991 年在測試柴油(DF2)引擎換用 JP-8 燃油，因油路及油灌車未清洗，受測車輛使用混合燃料，產生燃油濾心阻塞及輸出動力降低現象。⁹

2.JP-8 供售價廉

筆者於 108 年 4 月迄今隨機訪談近百位裝甲兵軍(士)官一個問題「JP-8 與柴油哪一個比較貴」，在飛機用就是比較貴的刻板印象中，近 95% 回答「JP-8 比較貴」其他則回答「不知道」，然從 110 年 1-11 月柴油及 JP-8 售價趨勢比較 (如圖 4)，¹⁰可以看出兩者維持近 4.5 元價差，也就是 JP-8 比柴油便宜，那為何本軍要用貴的柴油。¹¹

圖 4-110 年中油柴油與 JP-8 售價趨勢圖



資料來源：筆者整理製作

經查中油 JET A-1、JP-5、JP-8(可使用於 M1 戰車之航空燃油)及超級柴油 110 年 12 月 15 日供售油品牌價，(如表 5)。¹²

表 5-中油供售燃油牌價表

⁹同注 9，頁 26。

¹⁰經濟部能源局，《油價資訊管理與分析系統》，[Http://:www2.moeaboe.gov.tw](http://www2.moeaboe.gov.tw)，(2021 年 12 月 15 日)。

¹¹航空器使用替代燃油之影響，電訪(時間：110.12.16)空軍退役上校溫仁才先生表示：2006 年「南亞海嘯」國軍派遣 C-130 運輸機運載救災物資，人道救援印尼亞齊省，因油量不足返航台灣，當地機場僅能提供第 4 等級替代航油，歸國後空軍立即將油箱及所有供油線路清洗，並將 4 具渦輪槳發動機提前大修，溫先生建議原廠設定使用燃油不要任意變更，陸用車輛拋錨僅路邊停車，航空器則失事墜毀，請本軍務按技令添注指定燃料。

¹²台灣中油股份有限公司，《產品價格與資訊系統》，(網址：[Http://:www.ccp.com.tw](http://www.ccp.com.tw))，檢索時間：110 年 12 月 15 日。

油 品 \ 價 格	原 始 價 格	燃 料 稅	貨 物 稅	供 售 價 格	供 售 對 象
JET A-1	19.46	5%	0.61/公升	21.043	民航機
JP-5	19.5			21.085	軍用
JP-8	19.5			21.085	特定使用
超級柴油	23.67		0.67/公升	25.6	一般使用
與柴油比較	-4.17 元	N/A	-0.06	-4.515	N/A

資料來源：筆者整理製作

實際上，三種可為互用之航空燃油較之柴油在軍用免稅條件下，每公升便宜 4.17 元，以 M1 戰車加滿 3 個油箱需 1,910 公升，柴油要花費 45,210，航油則須 37,245 兩者差距為 7,965 元，若加滿 1 個 M1 戰車連(14 輛)，價差為 111,510，且經實驗數值兩者耗油量是相等美行駛 1 公里油耗均為 4.48 公升，巡遊里程扣除怠速等因素約為 420 公里。

3.JP-8 為美軍 M1 戰車現行使用燃油

一般汽車經銷商都建議指定燃油、潤滑油、變速箱機油要加何種油料、顧客大部分也會依原廠建議在定期保養時更換，既然在美方原廠以 JP-8 為主要燃油，那為何本軍使用要貿然改用柴油，這一點值得我們重新思索，是基於何種理由要改用柴油，比較，(如表 5)。

表 5-柴油與 JP-8 航油比較表

油 品 \ 區 分	柴 油 (A)	JP-8 (B)	比 較
主燃油英文 (比例)	Diesel Fuel (99.97%)	Kerosene (80%)	B-煤油佔 80%
閃燃點	>65°C	>38°C	B-降 27°C
密度	0.82kg/cm3	0.72kg/cm3	B-0.10kg/cm3
添加劑	1.潔淨添加劑 2.潤滑添加劑 (添加劑佔 0.03%) 3.其他添加劑 均為市售品另 購添加	1.四乙基鉛 2.抗氧化劑 3.鹼性酚 4.防靜電劑 5.腐蝕抑制劑 6.結冰抑制劑 (添加劑佔 20%)	1.降低閃點 2.防止起膠 3.抑制硫化 4.防制靜電 5.防制機件腐蝕 6.防止燃油凍結 (高空及寒帶添加，地面無影響)
渦輪葉片 副作用	1.扇葉積膠 2.發動機硫化	無	B-燃燒完全無積膠及腐蝕



	腐蝕		
價格	23.67NTD/L	19.5NTD/L	B-4.5157NTD/L

資料來源：筆者整理製作

(四)利弊分析比較¹³

1.分析比較：

美軍於1982年開始「單一燃油供應」，以解決第三類補給品-燃油部分問題，因此藉由M1戰車成功使用JP-8航油於燃氣渦輪引擎經驗，區分舊式裝備改裝噴射幫浦與噴油嘴及引擎壓縮比，及新制車輛引擎規格限制，使JP-8成為美軍陸用裝備統一燃料供應，這樣一來燃料補給一致性就解決了，而本軍迄今燃油供應仍維持汽油(1/2通用車)、柴油(一般車輛)及JP-8(直昇機)三種，使用柴油，可維持陸用裝備補給一致性。密度、十六烷值、補給成本、霧點、熱值、閃火點、揮發性、含硫量、廢氣排放、價格及燃油主成份與添加劑(比例)等項分析，(如表6)。

表6- AGT-1500 燃氣渦輪發動機使用 DF-2 柴油與 JP-8 燃油分析及差異

項次	項目	分析內容	數值		比較結果
			DF-2 柴油	JP-8 燃油	
一	密度	影響燃氣渦輪發動機之輸出功率，數值越高表同功率下耗油量越低。	0.840kg/L	0.775~0.840 kg/L	兩者概同
二	十六烷值	十六烷值影響燃料燃燒品質正常範圍為40~55之間，過低著火慢，燃燒不完全馬力下降，過高易自燃馬力下降。	48~55	40~50	兩者概同
三	補給成本	補給方式及庫儲設施。	為國軍陸用裝備現行用油，各駐、基地或廠庫既有庫儲設施，補給容易。	可申請中油公司油罐車至直接補給，或與航空基地JP-8燃油庫儲設施共用，以油罐車載運，無增加庫儲設施成本。	兩者概同

¹³ 同注9，頁21-25。

項次	項目	分析內容	數值		比較結果
			DF-2 柴油	JP-8 燃油	
四	霧點	因氣候低溫因素造成燃料產生蠟化形成顆粒導致油道堵塞，造成動力機無法啟動或熄火。	攝氏-3 度	攝氏-47 度	本國氣候影響小，不影響評估結果
五	熱值	將燃料噴入動力燃燒，可使發動機輸出之能量，數值越高表能量越高。	130,319 Btu/gal	123,138 Btu/gal	DF-2 熱值較高
六	閃火點	為油料蒸氣有被火星點著之溫度，溫度高表揮發差，安全性高不易著火。反之安全性差，為運輸安全之參考指數。	攝氏 52 度	攝氏 38 度	DF-2 較安全
七	揮發性	燃油由液態變為氣體之現象，也跟閃火點有連動關係，揮發性高於動力機中易霧化助燃燒完全，且冷啟動效果佳，反之低表示燃料不易霧化，冷啟動效果差。	低	高	JP-8 較佳
八	含硫量	為燃料中之既有物質有助燃料系機械之潤滑，惟燃燒後與水氣結合為二氧化硫，對環境及引擎機件產生侵蝕之影響。含硫量越低，對機件侵蝕越輕。	50ppm	3000ppm (0.3wt%)	JP-8 雖含硫量較高，但有 20% 的添加劑，含腐蝕抑制劑，可防硫化物侵蝕機件及積碳。
九	廢氣排放	燃料成分中芳香族濃度含量影響燃燒後有廢氣中有毒微粒氣體排放量，也直接影響環境污染程度。芳香族濃度低，環境污染程度低。	芳香族濃度高	芳香族濃度低	JP-8 對環境影響低



項次	項目	分析內容	數值		比較結果
			DF-2 柴油	JP-8 燃油	
十	價格	依據臺灣中油 111 年 3 月 21 日牌價。	29.4 元/公升	20.62 元/公升	JP-8 價格較低
十一	燃油主成份與添加劑(比例)	各式燃料中主要成份	柴油 (99.97%)	煤油 (80%)	兩者概同
		減少發動機渦輪葉片硫化腐蝕、積膠、積碳等副作用。	1.潔淨添加劑 2.潤滑添加劑 (0.03%)	1.四乙基鉛 2.抗氧化劑 3.鹼性酚 4.防靜電劑 5.腐蝕抑制劑 6.結冰抑制劑 (20%)	JP-8 較佳: 1.降低閃點 2.防止起膠 3.抑制硫化 4.防制靜電 5.防制機件腐蝕 6.防止燃油凍結

資料來源：作發室提供(2022 年 04 月 19 日)。

2.綜合評估

- (1)美方原廠以 JP-8 燃油為 M1 戰車主要用油，將可減少後勤維保產生之問題，並使各軍種戰鬥載台全部使用 JP-8。
- (2).由各項學理分析及比較，兩者效益概同，惟 JP-8 燃油對 AGT-1500 引擎實用性壽命較長。
- (3)M1 戰車為多種燃油性裝備(除含汽油成份混合燃料)，應採原用之 JP-8 燃油為佳，以維持發動機正常翻修工時及壽命。
- (4)JP-8 燃油為三軍通用燃氣渦輪(扇)發動機指定用油(含陸航直升機、海軍成功及基隆級艦與空軍各式軍機)，為本軍通用油料供補品項，油品補給無虞。

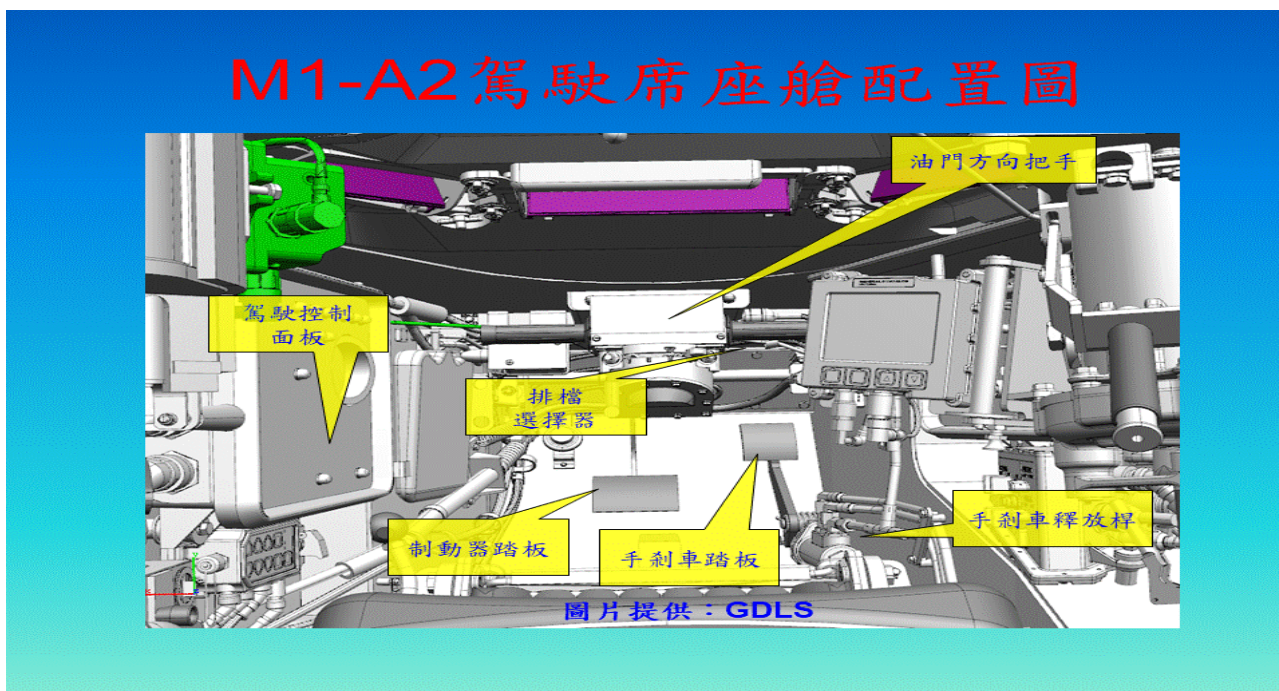
參、M1A2 戰車操縱裝置

動力系統(發動機與變速箱)及戰車操控由戰駕士於駕駛艙，(如圖 5)透過數位儀表板，掌握發動機啟動與相關作動狀態，操縱裝置區分油門及轉向轉把、排檔選擇器、制動器踏板及手剎車踏板與釋放桿。

一、油門轉把及轉向手把 (Steer-throttle control)：

油門轉把及轉向手把位於戰駕正前方，裝置類似機車握把(美軍慣稱 T-BAR)不同的是 M1 左右握把都可以控制油門，向下順時鐘旋轉為加油，鬆開即回復原位置；轉向手把與油門轉把設計為一體，手把向後帶可將戰車左、右轉向；原地樞軸轉向將檔位排至 PVT 檔，輕轉油門同時帶動手把，即可原地轉向(美軍戰駕經驗-如左轉以左把控制方向，右把則控制油門)。

圖 5-M1A2(SEPV3)駕駛座艙配置圖



資料來源：筆者翻拍製作(拍攝日期：2021 年 12 月 15 日)。

二、排檔選擇器：(如圖 5)

配合構型改變最新型檔位為倒檔(RX2)、空檔(N)、停檔(PVT)行駛檔(DX2)及低速檔(LX2)，5 個檔位，不同於 CD850 系列檔位配置比較(如表 2)¹⁴：因此 M60 車系(含 CM11)戰駕士，須先了解排檔構造，避免誤觸，及正確使用檔位，以發揮 M1 戰車優越及快速機動性能。

※注意事項當檔位排入空檔(N)若拉動方向把手也會使戰車原地轉向。

表 2-CD-850 與 X1100-3B 變速箱檔位比較表

品名 區分	CD-850		X-1100-3B	
停車	P	啟動及 鎖定剎車	N	同 P 功能亦可原地轉向
倒車	R	倒車	R	倒車
			R1-1:8.305	
			R2-1:2.345	
空檔	N	原地轉向	PVT	同 N 檔功能但須短暫駐止排入此檔並按下戰術急速鍵。
高速檔	H	一般道路	D	行駛檔

¹⁴同注 1，頁 154。



			D1-1:5.877	
			D2-1:3.021	
低速檔	L	困難及越野	L	低速檔
			L1-1:1.891	
			L2-1:1.278	
備註	1.倒車 R1 檔位齒輪比高達 8.3，使 M1 戰車在變換退出射擊陣地可加速至 40 公里/小時。 2.非困難地形或越野駕駛不要使用低速檔，避免高馬力、扭力低輸出狀況，會使變速箱升溫過熱。			

資料來源：筆者整理製作

(一)換檔撥桿：(如圖 6)

由圖 6 可以看出換檔撥桿目前為於行駛 1 檔(D1)，若要使用行駛 2 檔(D2)則將排檔撥桿向上推，除空檔(N)及停車及原地轉向檔(PVT)需向上及下外餘各檔位均按行駛檔(D)作排檔切換，注意同一般自動變速箱操作，倒車需待車輛完全靜止才能排入，高低速升降檔需收油門，再行檔位變換。

換檔撥桿座右兩側為車內通話按鈕，當按下時，可透過駕駛通信控制盒選擇全機或單一對通車內乘員，通常車長會要求選擇全機，並保持靜默，隨時接收車長指令，此一設計駕駛不用扳動頭盔通話撥桿，使雙手可以控制油門及轉向。

圖 6-油門及轉向與換檔控制器



資料來源：筆者整理繪製

(二)檔位設計：(如圖 5)

因發動機非傳統式活塞引擎，因此剎車碟盤與剎車鎖定裝置於變速箱內，在檔位設計上與舊式變速箱差異說明如下：

1.倒車(R)檔：

設計為兩檔位，當需快速變換退出射擊陣地可使用 R1 檔，最高時速可達 40 公里，困難地形或脫困時可用 R2 檔，兩者齒輪比為 4：1。

2.空(N)檔

用於啟動、熄火及剎車鎖定(配合手剎車踏板及釋放桿)操作，但注意本檔位處於發動狀態下，若拉動方向手把，將使戰車原地轉向。

3.停車及原地轉向(PVT)檔

(1)停車：

當 M1 戰車需短暫停車(超過 1 分鐘以上)需將檔位排入 PVT 檔並按下戰術怠速鍵(Tactical IDLE PushButton)，防止引擎瞬間升溫，並將轉速限制於 1,200RPM 以下，以防止發動機高溫失火。

(2)原地轉向：

拉動作左右方向手把，戰車可以順(逆)時針方向原地樞軸轉向，轉動速度配合油門轉把操作。

4.行駛(D)與低速(L)檔

均採雙檔位設計，一般道路行駛排入 D 檔、困難地形及越野用 L 檔，注意事項，(如圖 7)。

圖 7-排檔控制器說明

排 檔 控 制 器		
檔位注意事項說明表		
名稱	功能	配合鎖定鈕
R	倒車(1、2檔)	※
N	空檔、啟動、長期停車	啟動時勿觸轉向桿導致原地轉向
PVT	原地轉向及戰術怠速檔	需停車排入PVT並按下戰術怠速
D	行駛檔(1、2檔)	一般行駛，不要以低速檔行駛。
L	低速檔(1、2檔)	越野及困難地形

資料來源：筆者整理繪製



三、制動器踏板：(如圖 8)

M1 戰車制動器裝置於變速箱內，制動器踏板踩下前，先鬆開油門轉把，順踩制動踏板，若急煞可能導致砲塔乘員撞傷，不可長時間在入檔(除 PVT 檔外)狀況下，踩住剎車踏板。

四、手剎車踏板及釋放桿：(如圖 9)

當戰車完成任務，準備返場，戰駕在車長指揮下停放至指定位置，將檔位排入空檔(N)，踩下手剎車踏板，戰駕須注意剎車壓力表指數，完成鎖定，重新啟動行駛前，踩下手剎車踏板，並觀察壓力表指數歸零，再將釋放桿前推，解除剎車鎖定，因燃氣渦輪發動機熱斷燃燒室渦輪軸輸出 34,000RPM 高轉速必須經過減速齒輪箱將轉速降至 3,200RPM，將傳動轉速帶動變速箱，直接輸出會導致變速箱損毀，過去 M60 底盤常因有剎車壓力未釋放導致傳動輸出軸斷裂情形，然須注意輸出軸也是變速箱瞬間扭力矩過大保護裝置，傳動軸超過扭力應力值，以斷裂保護變速箱，M1 末端傳動軸也採取同樣設計，如減速齒輪箱故障，輸出過高轉速時(此時 IDID 轉速警告燈會亮起)，戰駕立即鬆開油門，踩住剎車，將檔位排入 PVT 檔，將轉速降至 850RPM，若發現轉速未降，排入 N 檔，按下熄火按鍵，踩下剎車鎖定踏板，並將釋放桿拉起，通知保修人員檢查，若戰時則須進入隱蔽位置，完成前述程序，並啟動輔助動力系統，使戰車保持砲塔供電，維持各項系統正常操作，具備駐止間戰鬥能力。

※注意剎車鎖定未釋放，戰車無法入檔，必須重新作一次釋放動作。

圖 8-制動器與手剎車說明

制動器與手剎車系統說明表		
項次	名稱	注意事項
1	手剎車釋放桿	1.手剎車踏板踩下。 2.下後拉為完成剎車鎖定。 3.向前推為釋放剎車鎖定。 4.在熄火且位於空檔(N)才能操作。
2	手剎車腳踏板	1.踩下踏板注意剎車壓力表指數。 2.配合手剎車桿操作。
3	制動器踏板	1.制動器短暫減速可以使用。 2.若需長時間停車且處於發動狀況需排入PVT檔並按下戰術急速鍵使轉速降至1200RPM。 3.除位於PVT檔外，踩下踏板超過1分鐘以上，將導致發動機溫度急遽上升。

資料來源：筆者整理製作

五、啟動程序與行駛程序：

(一)啟動程序：(如圖 8)

- 1.確認車外淨空，指揮者就定位，下達啟動命令
- 2.確認檔位於空(N)檔
- 3.確認砲塔是所有電源關閉(含 APCS)
- 4.按下主電源開關，以駕駛整合面板(DID 或 iDID，如圖 9)檢查發動機及變速箱狀態，確認正常，警告燈熄滅。
- 5.按下啟動開關(切勿連續按壓)，此時面板會顯示啟動運轉中(START IN PROGRAM)電動幫浦啟動空氣壓縮扇葉，注入高壓空氣，待燃燒室點火運轉會顯示(ENGINE STARTED)表示發動機已啟動成功，接著進入自動暖機，此時勿轉動油門，M1 戰車然氣渦輪發動機，具備冷車啟動快，不須怠速暖機，即可入檔行駛，噪音小，戰駕於封閉駕駛艙幾乎聽不到引擎啟動聲音，此時切記相信儀表顯示，在車長指揮下實施操作，若 M1 戰車發動機啟動後，若未立即行駛，須超過一分鐘以上停留，戰駕則須將檔未排入 PVT 檔，按下戰術怠速鍵，避免引擎溫度驟升，導致發動機失火，本軍獲裝後在訓練中會強調此點，以維持 M1 戰車使用壽命及人、裝安全。

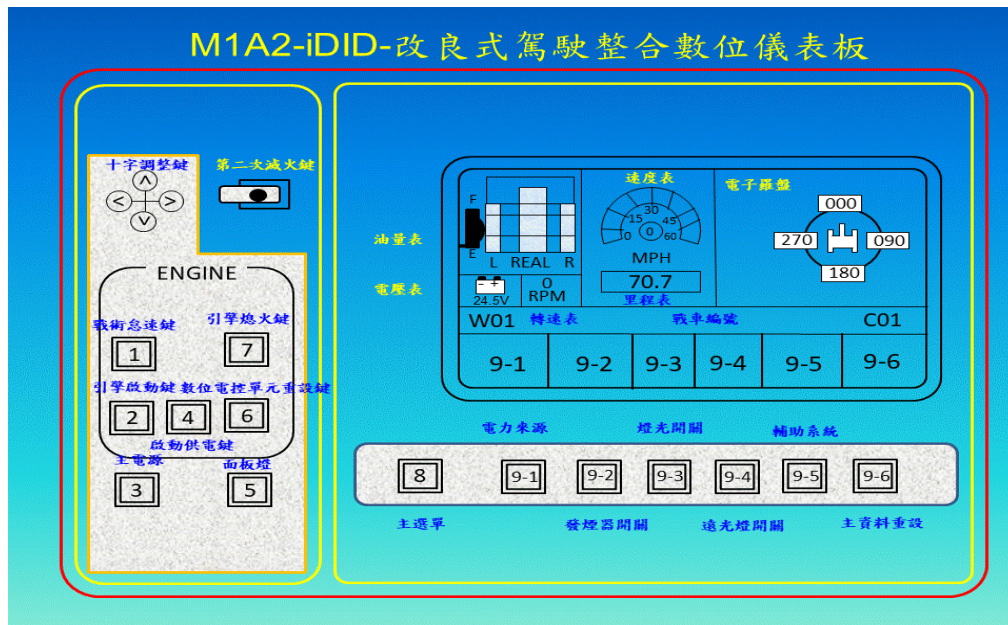
圖 9-M1A2 發動機啟動程序

M1A2戰車發動機起動程序	
步驟	程序
1	確認砲塔電源(含無線電及指管與射砲控裝置)電源關閉，發動由副車長以上督導執行。
2	確認車尾及四週人員物資需完成淨空，車尾排氣口45°範圍必須保持15公尺以上距離；保養廠或訓練廠需保持雙通口，避免排氣尾焰400°C燒傷人員。(確認操縱桿置中)
3	按下主電源開關(MASTER POWER)，確認iDID面板警告燈未亮起，警告燈亮就不啟動
4	按下引擎發動鍵(PUSH TO START)，DID顯示發動中(START IN PROGRAM)，成功發動會顯示(ENGINE STARTED)，勿轉動油門，發動機自動進入暖機怠速(850-950RPM)。

資料來源：筆者整理製作



圖 9-駕駛數位儀表板



資料來源：李思平/黃竣民，《戰車部署 II020》，筆者繪製整理。

(二)行駛程序：(如圖 10)

1. 踩下手剎車踏板，並目視確認壓力表歸零，放鬆釋放桿。
2. 依指揮者命令選擇檔位及轉向。
3. 一般道路行駛使用行駛(D)檔。
4. 困難地形或越野行駛使用低速(L)檔。
5. 不要在入檔狀況下踩住制動器踏板超過 1 分鐘，如需短暫停排入行車及原地轉向(PVT)檔併按下戰術怠速鍵(Tactical IDLE PushButton)，轉速將限制於 1,200RPM 以下，防止發動機高溫失火。

圖 10-M1A2 戰車行駛程序

M1A2戰車行駛程序	
步驟	程序
1	踩下手剎車踏板，確認剎車壓力表歸零，推出手剎車桿位置向前。
2	踩住剎車踏板，按下檔位變換鈕，將檔位排入所需檔位(依指揮者手勢命令)，放鬆剎車，輕轉油門及操作方向。
3	一般道路行駛使用行駛檔(D)，除戰鬥狀態否則禁止急轉油門，不要以低速檔長途行駛，會造成高扭力、低輸出，造成引擎高溫及變速箱損壞。
4	不要踩住剎車踏板超過1分鐘以上，若需短時間駐止，排入PVT檔並按下戰術怠速鍵，防止發動機急速升溫。

資料來源：筆者整理製作

(三)熄火程序：

- 1.車長指揮車輛停至定位。
- 2.鬆開油門轉把。
- 3.踩住剎車踏板，同時將檔位入 PVT 檔。
- 4.將手剎車踏板踩至 1,000PSI，拉起手剎車釋放桿，再將檔位排入 N 檔。
- 5.按下熄火開關，再關斷主電源。
- 6.全車乘員分工完成行駛後檢查，並填註行駛里程及工作時間。

肆、結語

本軍陸用戰鬥車輛首度採用燃氣渦輪發動機，並使用 JP-8 燃油，過去慣用活塞式引擎，對於戰車乘員操作與後勤補保為一新挑戰，本文以目前可蒐集的到，先以 M1A2-SEPV3 構型，針對發動機、變速箱、操縱裝置與使用燃油作介紹與代用油品分析比較，藉本文讓讀者對於燃氣渦輪發動機與 X1100-3B 變速箱有初步認識如同職業與自用駕照考照區別，職業駕駛必須加考汽車機械常識與保養，戰車駕駛士不只是會開 M1 戰車，更要對發動機與變速機械作用原理與保養要深入了解，其他乘員除自己管理艙位外，對於交織訓練亦應熟稔，使戰車乘員可以相互接替職務，發揮戰力於極致。

參考文獻

一、中文書籍

- (一)溫澤民。《國軍陸用裝備使用 JP-8 燃油可行性之研析》。(台北市：聯合季刊第 26 期，民國 2009 年 8 月)。
- (二)獨島刀也。《地表最強戰車!M1 艾布蘭戰車徹底追蹤》。(新北市：瑞昇文化，民國 2009 年 9 月)
- (三)阿川弘之原著、譯者陳寶蓮。《山本五十六-聯合艦隊司令長官》。(台北市：麥田出版社，民國 1995 年 8 月)。
- (四)李思平。《戰車部署》。(尖端科技軍事雜誌社-392)。初版。(1016 年 9 月)。
- (五)李思平/黃竣民。《戰車部署 II020》。(尖端科技軍事雜誌社-393)。初版。(2020 年 1 月)。

二、外文書籍



General Dynamics Land System (GDLS) 《M1A2 Turret And Hull Layout》。
(15.Sep.2021)。

三、網際網路

- (一)<燃氣渦輪發動機發明史>。(Http//:en.m.wikipedia.org)。
- (二)<牛頓第三運動定律：在同一直線上，相同質量，作用力=反作用力>。
(Http//:www.phyword.idv.tw)。
- (三)經濟部能源局。<油價資訊管理與分析系統>。
(Http//:www2.moeaboe.gov.tw)。
- (四)台灣中油股份有限公司。<產品價格與資訊系統>。
(Http//:www.ccp.com.tw)。

筆者簡介



姓名：簡一建

級職：中校研究教官

學歷：陸軍官校專94年班

陸軍裝校正規班102年班

陸院正規班105年班

經歷：排、連長、主任教官、大隊長、現任作發室中校研究教官

電子信箱：

軍用：army105008685@army.mil.tw